

ФАНО РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ им. Н.С.
КУРНАКОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИОНХ РАН)

119991, г. Москва, Ленинский проспект, 31. Тел. (495) 952-0787, факс (495) 954-1279, E-mail: info@igic.ras.ru

_____ № _____

на № 162/219 от 14.11.16

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИОНХ РАН
Чл.-корр. РАН Иванов В.К.

« 12 » декабря 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Юданова Николая Анатольевича
**«Разработка методов управления свойствами аморфных
микропроводов и технологий изготовления высокочувствительных
датчиков магнитного поля»,**

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Диссертационная работа Юданова Николая Анатольевича посвящена разработке методов управления свойствами аморфных микропроводов и технологий изготовления высокочувствительных датчиков магнитного поля, использующих принцип магнитоимпеданса (МИ). Актуальность данного

исследования заключается в широких перспективах применения эффекта МИ для регистрации очень слабых и локальных магнитных полей.

МИ-датчики имеют потенциал для использования в самых различных областях: в медицине для регистрации магнитных полей от различных органов (магнитная кардиография), в дефектоскопии для неразрушающего контроля, в геодезии, авто-, авиа и космической технике и т.д. По сравнению с другими магнитными датчиками МИ-элементы имеют преимущество по сочетанию ряда свойств: быстродействия, высокой чувствительности, миниатюрности, малого потребления энергии, себестоимости изготовления. Размер МИ элемента может быть менее 100 мкм, что позволит регистрировать слабые локальные поля. Подобные разработки ведутся в ведущих научных центрах мира (в США, Японии, Китае).

Однако остаются нерешенными задачи увеличения чувствительности электронной подсистемы (то есть, выходного сигнала (В/Э)) и улучшения температурной стабильности характеристик. Первая задача связана с оптимизацией высокочастотного возбуждения и конструкции МИ чувствительного элемента. Вторая задача связана с оптимизацией магнитных и структурных свойств МИ материалов.

Поставленные автором цели и задачи являются логически обоснованными и отражают актуальность темы исследований. Основной целью работы являлась разработка методов модификации свойств аморфных микропроводов для применений в качестве МИ элементов датчика, а также принципов и технологии изготовления высокочувствительных датчиков магнитного поля на основе МИ-эффекта.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены конкретные задачи, среди которых отметим следующие:

- Исследование влияния магнитной анизотропии, магнитных полей смещения, формы сигнала возбуждения на МГц частотах на зависимость импеданса аморфного провода в недиагональной конфигурации от

измеряемого магнитного поля с целью увеличения чувствительности выходного сигнала напряжения (В/Э).

- Исследование воздействия температурной и термомагнитной обработки на магнитный импеданс в микропроводе для последующего улучшения и модифицирования свойств датчиков и повышения его температурной стабильности.

- Разработка конструкции чувствительного элемента (ЧЭ) с использованием МИ микропроводов в недиагональной конфигурации для высокочувствительных датчиков магнитного поля и технологии его изготовления.

- Определение основных принципов построения интеллектуальных датчиков с применением магнитоимпедансных чувствительных элементов и разработка интеллектуального программного обеспечения блока обработки данных.

В ходе выполнения автором работы получены результаты, обладающие **научной новизной**. Наиболее важные с нашей точки зрения являются следующие:

1. Впервые предложена термомагнитная обработка микропроводов для модификации их параметров в составе чувствительного элемента сенсора. Она позволяет существенно увеличить его чувствительность и улучшить температурную стабильность.

2. Разработана методика измерения температурных зависимостей импедансных характеристик ЧЭ для различных вариантов его конструкции, проведено исследование этих зависимостей и предложены способы компенсации термочувствительности.

3. Впервые предложен резонансный метод возбуждения, позволяющий рекордно повысить соотношение (В/Э) на один виток. На предложенное техническое решение получен патент РФ RU2549843. Увеличение

чувствительности происходит за счет минимизации потерь энергии внутри детектирующего контура чувствительного элемента (ЧЭ), а минимизацию потерь энергии обеспечивает резонанс частоты внутреннего контура и частоты возбуждения ЧЭ.

Практическая значимость диссертационной работы выражается в следующем:

1. Предложен метод увеличения температурной стабильности чувствительного элемента за счет частичной релаксации внутренних напряжений;

2. Предложен многопроводной недиагональный МИ-чувствительный элемент, позволяющий увеличить выходной сигнал при сохранении чувствительности и расширить динамический диапазон. В частности, разработан двухпроводной дифференциальный чувствительный элемент, на который получен патент РФ RU2582488. Дифференциальный чувствительный элемент компенсирует наведенные электромагнитные помехи, что позволяет значительно повысить соотношение сигнал/шум.

Предложена также конструкция миниатюрного интеллектуального магнитоимпедансного сенсора с использованием нескольких дифференциальных чувствительных элементов, которые управляются микроконтроллер с интеллектуальным ПО.

3. Предложена оригинальная технология изготовления чувствительного элемента методом намотки медного микропровода непосредственно на ферромагнитный микропровод, позволяющая уменьшить размер чувствительного элемента до 70 мкм при сохранении чувствительности.

4. Разработан прототип МИ-датчика на основе микроконтроллера, который выполняет роль возбуждающей и контролирующей подсистемы с интеллектуальным программным обеспечением, то есть датчик обладает внутренними интеллектуальными свойствами.

Результаты работы могут быть рекомендованы к широкому применению в качестве эффективных материалов для создания высокочувствительных датчиков магнитного поля. С результатами работы следует ознакомить АО НПП «Алмаз», АО "НПП "Исток" им. Шокина", ИОНХ РАН, ИНХС РАН, ИМЕТ РАН.

Обоснованность полученных результатов и выводов подтверждается согласованием предложенных автором теоретических моделей с экспериментальными данными и результатами независимых исследований, представленных автором. Полученные результаты работы обсуждались и докладывались на международных и всероссийских научных конференциях. Материалы данной диссертационной работы изложены в 17 статьях, опубликованных реферируемых научных журналах, сборниках материалов и тезисов докладов международных и всероссийских конференций, в том числе 3 статьи в зарубежных журналах, входящих в базу Web of Science, 4 статьи в журналах из базы Scopus и 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Получено два патента на изобретение.

По диссертационной работе необходимо сделать следующие замечания:

1. Желательно было бы представить не только качественные, но и количественные характеристики по улучшению структурных свойств микропровода, в частности на основе рентгенофазового и рентгеноструктурного анализов.
2. В главе 2, в которой обсуждаются экспериментальные методики, не выделен вклад автора в разработку тех или иных методов измерений, не ясно, насколько используемые методы являются оригинальными и выполненными непосредственно автором работы.
3. В тексте диссертации при описании процесса измерения магнитных полей разработанным датчиком отсутствуют данные об амплитудно-частотной характеристике сенсорного элемента в переменных магнитных полях, что

понижает достоверность полученных результатов.

4. Для разработки датчика использовался микропровод с относительно большим диаметром. Это должно приводить к неоднородности магнитной структуры, то есть возможно негативное влияние на работу датчика. Соответственно возникает вопрос: из каких соображений выбирался микропровод в качестве чувствительного элемента?
5. Автором используются два обозначения для магнитоимпедансного эффекта: МИ и ГМИ. Есть ли различия между двумя этими понятиями?

Имеются также замечания к тексту и оформлению диссертации.

1. На некоторых рисунках присутствует текст с очень мелким шрифтом, что затрудняет понимание рисунков.
2. Подписи к рисункам, как правило, очень короткие и малоинформативные. Примеры: подпись к рисунку 1.7- «Упрощённая структурная схема прибора». Даже не указано, какого прибора; подпись к рисунку 1.15- «Полевая характеристика ГМИ». Между тем на этом рисунке приведены полевые зависимости в присутствии растягивающих напряжений, и без них. Рис. 2.6- «Окно программы»
3. Имеются неаккуратные выражения: стр. 29: «аморфные сплавы с малым значением константы анизотропии»- вообще говоря, в аморфных сплавах магнитокристаллическая анизотропия отсутствует, поэтому не ясно, о чем идет речь.

Стр. 77 «В процессе структурной релаксации атомные смещения меньше межатомных, а происходят они в локальных областях.» положение не ясно. Стр. 40- Сделано утверждение, что «магнитоимпедансный датчик магнитного поля выгодно отличается от датчика Холла высокой температурной стабильностью», между тем часть работы посвящена улучшению температурной стабильности МИ датчика.

4. Формулы (1.1), (1.2) - в левой части используется модуль величины относительного изменения импеданса, а в правой части он отсутствует. Некоторые формулы приведены дважды – (например, 1.6 и 2.6) .

5. Есть грамматические ошибки (стр. 29, 36, -77, 81, 110, 133)

Указанные замечания не снижают общее высокое качество диссертационной работы, которая написана доступным научным языком, хорошо иллюстрирована, логически обоснована и оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ.

Учитывая отмеченные выше актуальность, научную новизну и практическую значимость работы, можно заключить, что представленная диссертация Юданова Николая Анатольевича имеет существенное значение для современной магнитоэлектроники и наноэлектроники, а также материаловедения новых материалов.

Заключение

Диссертация Юданова Николая Анатольевича представляет собой научно-техническую работу, выполненную на актуальную тему. Представленные в работе результаты исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

Работа изложена в логически последовательной форме, а ее содержание соответствует паспорту заявленной специальности 05.27.06: «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники», п.п. 1-4.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат в достаточной степени полно отражает содержание работы и дает представление о достигнутых результатах.

Диссертационная работа содержит решение актуальной задачи по разработке методов управления свойствами аморфных микропроводов и технологий изготовления высокочувствительных датчиков магнитного поля,

соответствует требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (в ред. Постановления Правительства РФ от 20.06.2011 N 475), и может рассматриваться как завершенная научно-квалификационная работа, а ее автор, Юданов Николай Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – «технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Содержание работы, автореферат и отзыв на диссертацию Юданова Н.А. рассмотрены и одобрены на заседании секции «Синтез и изучение новых неорганических веществ и материалов» Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук «08» декабря 2016 года, протокол №9.

Главный научный сотрудник, д.х.н.
член-корреспондент РАН

Изотов А.Д.

Зав. лабораторией полупроводниковых
и диэлектрических материалов
д.т.н., профессор

Васильев М.Г.

